

Beschreibung

Kraftsensor mit organischen Feldeffekttransistoren, darauf
beruhender Drucksensor, Positionssensor und Fingerabdrucksen-
5 sor

Die Erfindung betrifft einen Kraftsensor mit organischen
Feldeffekttransistoren, einen Drucksensor, einen Positions-
sensor sowie einen Fingerabdrucksensor, die alle auf organi-
10 schen Feldeffekttransistoren beruhen.

Die qualitative Erfassung oder quantitative Messung von me-
chanischen Kräften, wie sie bei Berührung durch den Menschen
oder bei Kontakt mit festen Objekten auftreten, erfolgt in
15 der Praxis meist durch den Einsatz von Kraftsensoren, die in
der Regel entweder auf dem piezoelektrischen, dem resistiven
oder dem kapazitiven Wirkprinzip beruhen:

Beim piezoelektrischen Kraftsensor wird durch die mechanische
Deformation eines aus Quarz oder einer speziellen Piezo-Kera-
20 mik aufgebauten Kristalls an dessen Außenflächen eine zur
einwirkenden Kraft proportionale elektrische Ladung erzeugt.
Die dabei erzeugte elektrische Energie ist sehr gering, so
dass zur Auswertung ein Ladungsverstärker mit hochohmigem
Eingangswiderstand notwendig ist.

25 Beim resistiven Kraftsensor wird durch die einwirkende Kraft
eine mit einem elektrisch leitfähigen Polymer beschichtete
Folie gegen eine Metall-Kontakt-Struktur gepresst, so dass
sich der zwischen den Metallkontakten gemessene elektrische
Widerstand messbar verringert. Aufgrund der Eigenschaften der
30 Polymerschicht hängt die Änderung des Widerstands über einen
relativ weiten Bereich proportional von der einwirkenden me-
chanischen Kraft ab. Folien-Kraftsensoren kommen zum Beispiel
in Tastaturen oder zur elektronischen Erfassung von Unter-
schriften zum Einsatz.

35 Beim kapazitiven Kraftsensor wird durch die einwirkende Kraft
eine zwischen zwei elektrisch leitfähigen Flächen befindliche
Isolatorschicht zusammengedrückt, wobei sich die Kapazität

-2-

der Anordnung am Ort der einwirkenden Kraft erhöht. Die Kapazitätsänderung ist jedoch relativ klein.

WO 03/079,449 A1 (vergleiche insbesondere Fig. 5 mit der zugehörigen Beschreibung auf den Seiten 10 und 11) beschreibt einen Kraftsensor, der auch als Fingerabdrucksensor und zweidimensionaler Positionssensor Verwendung findet. Die in Fig. 5 gezeigte Struktur weist oberhalb eines eine Vielzahl von LEDs aufweisenden Pixelarrays ein Sensorarray auf, das aus einer zwischen einer transparenten oberen Elektrodenlage, die z. B. aus ITO besteht und einem darunterliegenden leitenden Barrierematerial sowie einer isolierenden einebnenden Lage eingelegten komprimierbaren Schicht aus dielektrischem oder sehr hochohmigen Material besteht. Sobald auf diesem Materialstapel ein Druck ausgeübt wird, ändert sich der Abstand zwischen der Elektrodenlage und dem leitenden Barrierematerial, so dass sich eine messbare Kapazitätsänderung über dem dielektrischen Material oder eine Verringerung des Widerstands über dem sehr hochohmigen Material einstellt.

Es ist eine Aufgabe der Erfindung, einen vielseitig verwendbaren und kostengünstig herstellbaren Kraftsensor zu ermöglichen, bei dem die einwirkende Kraft in einen reproduzierbaren und nach Beendigung der Krafteinwirkung reversiblen Messstrom oder eine Messspannung umgesetzt werden kann.

Eine zweite Aufgabe der Erfindung besteht darin, einen Drucksensor unter Verwendung wenigstens eines derartigen Kraftsensors anzugeben. Eine dritte Aufgabe der Erfindung besteht darin, einen ein- oder zweidimensionalen Positionssensor unter Verwendung eines derartigen Kraftsensors anzugeben. Schließlich besteht eine vierte Aufgabe darin, einen Fingerabdrucksensor unter Verwendung eines derartigen Kraftsensors anzugeben.

35

-3-

Die Herstellung von geeigneten Pentazen-Transistoren auf verschiedenen Substraten ist in folgenden Druckschriften beschrieben:

- 5 M. Halik et al.: "Polymer gate dielectrics and conducting-polymer contacts for high-performance organic thin film transistors" in Advanced Materials, vol. 14, p. 1717 (2002);
H. Klauk et al.: "High-mobility polymer gate dielectric pentacene thin film transistors" in Journal of Applied Physics, vol. 92, p. 5259 (2002), und
10 H. Klauk et al.: "Pentacene organic transistors and ring oscillators on glass and on flexible polymeric substrates" in Applied Physics Letters, vol. 82, p. 4175 (2003).

- 15 Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung wird die erste Teilaufgabe gelöst durch einen Kraftsensor auf der Basis eines auf einem Substrat aufgetragenen organischen Feldeffekttransistors, bei dem eine auf den Transistor einwirkende mechanische Kraft eine dieser Kraft entsprechende Änderung seiner Source-Drain-Spannung oder seines Source-Drain-Stroms verursacht, die jeweils als Messgröße für die einwirkende Kraft
20 erfassbar sind.

- Bevorzugt ist der organische Feldeffekttransistor ein Pentazen-Transistor, der eine aktive Schicht aus Pentazen zwischen
25 einer Drain- und einer Sourceelektrode aufweist. Somit nutzt der erfindungsgemäße Kraftsensor die reproduzierbare reversible Abhängigkeit des Drainstroms eines organischen Feldeffekttransistors von der auf den Transistor einwirkenden mechanischen Kraft. Da sich organische Feldeffekttransistoren
30 besonders einfach und kostengünstig auf beliebigen Substraten integrieren lassen, sind derartige organische Feldeffekttransistoren besonders gut für die Realisierung von Kraftsensoren geeignet.

- 35 Das genannte Substrat, auf dem der organische Feldeffekttransistor, insbesondere der Pentazen-Transistor aufgebracht ist, kann zum Beispiel aus Glas, Keramik, Kunststoff, einer Poly-

-4-

merfolie, Metallfolie oder aus Papier bestehen. Im Falle, dass das Substrat aus einer Polymerfolie besteht, sind insbesondere Polyethylen-Naphthalat (PEN), Polyethylen-Terephthalat (PET), Polyimid (PI), Polycarbonat und/oder Polyethen-
5 etherketone (PEEK) zu bevorzugen.

Bei einem möglichen Schaltungsbeispiel eines derartigen Kraftsensors ist die elektrische Messgröße die Drain-Source-Spannung des organischen Feldeffekttransistors. Dabei wird
10 diesem zum Messzeitpunkt eine konstante Gate-Source-Spannung und ein konstanter Drain-Strom angelegt und die Drain-Source-Spannung als Messgröße für die einwirkende Kraft abgegriffen.

Bei einem anderen Schaltungsbeispiel eines derartigen Kraft-
15 sensors ist die elektrische Messgröße der Drainstrom des organischen Feldeffekttransistors. Bei diesem Schaltungsprinzip wird zum Messzeitpunkt dem organischen Feldeffekttransistor eine konstante Gate-Source-Spannung und eine konstante Drain-Source-Spannung angelegt.

20 Dank der oben beschriebenen breiten Palette von Substratmaterialien lassen sich auf einfache und kostengünstige Weise Kraftsensoren für verschiedenartige Anwendungen und für verschiedene Messbereiche realisieren, die alle den gleichen prinzipiellen Aufbau haben.

25 Eine dieser Anwendungen ist ein erfindungsgemäßer Drucksensor, der auf einem als Membran gestalteten Substrat wenigstens einen erfindungsgemäßen Kraftsensor aufweist. Dabei entspricht die elektrische Messgröße (diese ist, wie oben erläutert, entweder der Drainstrom oder die Drain-Source-Spannung)
30 dem Biegezustand der Membran am jeweiligen Ort des wenigstens einen Kraftsensors.

Bekannte integrierte Drucksensoren zur Messung des statischen
35 und/oder dynamischen Drucks in flüssigen oder gasförmigen Medien beruhen im Allgemeinen auf dem Prinzip einer elastischen, sich unter Druck verformenden Struktur (der so genann-

-5-

ten Membran), auf deren Oberfläche ein oder mehrere Druckwandler (Sensoren) integriert ist oder sind. Dabei wirkt gegen die eine Fläche der Membran der zu messende Druck, während auf die andere Membranfläche ein konstanter Referenzdruck einwirkt, der mit Hilfe eines abgeschlossenen (oder zur Atmosphäre offenen) Volumens eingestellt wird. Für die Druckwandlung an der Membran wird in der Regel entweder ein resistives oder ein kapazitives Wirkprinzip genutzt, das heißt die elastische mechanische Deformation der Membran führt zu einer messbaren Veränderung entweder eines elektrischen Widerstands oder einer elektrischen Kapazität. Dabei beruhen resistive Drucksensoren (Dehnungsmessstreifen) entweder auf der Auswertung der Widerstandsänderung in metallischen Leiterbahnen (Widerstandsänderung aufgrund der Veränderung des geometrischen Querschnitts der Leiterbahn) oder auf dem piezoresistiven Effekt in einer Halbleiterstruktur.

Der prinzipielle Nachteil metallischer Dehnungsmessstreifen ist die geringe Empfindlichkeit, da die zu messende relative Widerstandsänderung sehr klein ist. Piezoere sensitive Druckwandler haben den Nachteil, dass ihre Herstellung aufgrund der Notwendigkeit der Prozessierung von Siliziumsubstraten verhältnismäßig aufwändig und teuer ist. Außerdem sind der Widerstand und die Widerstandsänderung im Halbleiter stark temperaturabhängig. Ein weiterer Nachteil ist die Tatsache, dass piezoresistive Drucksensoren nur für die Messung von Drücken in gasförmigen und flüssigen Medien geeignet sind, da der direkte Kontakt mit einem festen Objekt zu einer Zerstörung der extrem dünnen Siliziummembran führen würde.

Der erfindungsgemäße Drucksensor nutzt die reproduzierbare, reversible Abhängigkeit der Schwellenspannung organischer Feldeffekttransistoren vom Biegezustand des Substrats. Somit schlägt die Erfindung einen auf einer deformierbaren Membran basierenden integrierten Drucksensor vor, bei dem die Druckwandlung auf der messbaren, vom Biegezustand der Membran abhängigen Veränderung der Schwellenspannung eines oder mehrerer

-6-

auf der Membran integrierter organischer Feldeffekttransistoren beruht (als Schwellspannung ist diejenige Eingangsspannung des Transistors definiert, bei der sich der Ausgangsstrom des Transistors aufgrund der Anreicherung eines Ladungsträgerkanals sprunghaft erhöht). Durch die oben geschilderte Verfügbarkeit einer Vielzahl kommerziell erhältlicher preiswerter flexibler Membranmaterialien kann durch eine gezielte Optimierung der Dicke und der Oberfläche der Membran auf einfache Weise ein Drucksensor für verschiedene Anwendungen und verschiedene Messbereiche jeweils beruhend auf dem gleichen prinzipiellen Aufbau realisiert werden. Insbesondere erlaubt dies nicht nur die Messung von Drücken in gasförmigen und flüssigen Medien sondern auch die Messung von Kräften und Drücken, die durch feste Objekte auf die Membran ausgeübt werden. Dies ist ein wichtiger Vorteil gegenüber herkömmlichen piezoresistiven Sensoren.

Eine weitere erfindungsgemäße Anwendung des erfindungsgemäßen Kraftsensors ist ein ein- oder zweidimensionaler Positionsensor zur Messung der Position einer mechanischen Krafteinwirkung entlang einer Linie oder innerhalb einer Fläche unter Verwendung einer Vielzahl von erfindungsgemäßen jeweils auf einem organischen Feldeffekttransistor beruhenden Kraftsensoren, die in regelmäßigen Abständen zueinander in Form einer eindimensionalen oder zweidimensionalen Matrix auf einem gemeinsamen Substrat angeordnet sind.

Bei bislang üblichen ein- oder zweidimensionalen Positionssensoren wurde eine vorgegebene Anzahl von Kraftsensoren, die in der Regel entweder auf dem resistiven oder dem kapazitiven Wirkprinzip beruhen, entlang einer Linie oder innerhalb einer zweidimensionalen Fläche angeordnet. Beim resistiven Positionssensor wird durch die einwirkende Kraft eine mit einem elektrisch leitfähigen Polymer beschichtete Folie gegen eine Metall-Kontaktstruktur gepresst, so dass sich der zwischen den Metallkontakten gemessene elektrische Widerstand messbar verringert. Aufgrund der Eigenschaften der Polymerschicht

-7-

hängt die Änderung des Widerstands über einem relativ weiten Bereich proportional von der einwirkenden mechanischen Kraft ab. Beim kapazitiven Positionssensor wird durch die einwirkende Kraft eine zwischen zwei elektrisch leitfähigen Flächen befindliche Isolatorschicht zusammengedrückt, wobei sich die Kapazität der Anordnung erhöht. Allerdings ist die Kapazitätsänderung recht klein.

Dagegen wird bei dem erfindungsgemäßen Positionssensor die reproduzierbare reversible Abhängigkeit des Drainstroms organischer Feldeffekttransistoren von der auf den jeweiligen Transistor einwirkenden mechanischen Kraft genutzt.

Bei einem als Ausführungsbeispiel beschriebenen zweidimensionalen Positionssensor der Erfindung werden die Messdaten Zeile für Zeile erfasst, indem alle organischen Feldeffekttransistoren innerhalb einer Zeile durch Anlegen einer entsprechenden Gate-Source-Spannung durch einen Zeilendecoder selektiert werden. Die Gate-Source-Spannung wird so gewählt, dass die Transistoren in dieser Zeile eingeschaltet sind; gleichzeitig werden alle anderen Zeilen der Matrix durch Anlegen einer entsprechenden Gate-Source-Spannung vom Zeilendecoder deselektiert, so dass die Transistoren in diesen Zeilen gesperrt sind und keinen Beitrag zum Messstrom liefern. Die Deselekt-Spannung wird so gewählt, dass die Transistoren sperren. Die von der einwirkenden mechanischen Kraft abhängigen Messspannungen, das heißt die Drain-Source-Spannungen der einzelnen Transistoren innerhalb der selektierten Zeile werden nach Aktivierung der Konstantstromquellen durch eine mit den Spalten der Matrix verbundene Ansteuer- und Messeinheit erfasst.

Eine weitere Anwendung des erfindungsgemäßen Kraftsensors ist ein erfindungsgemäßer Fingerabdrucksensor, der die reproduzierbare, reversible Abhängigkeit des Drainstroms matrixförmig angeordneter organischer Feldeffekttransistoren von

der auf diese Transistoren einwirkenden mechanischen Kraft nutzt.

Die Identifikation des Fingerabdrucks erfolgt üblicherweise durch Berührung der Fingerkuppe mit einer zweidimensionalen Anordnung (Matrix) von Einzelsensoren, mit deren Hilfe die mikroskopische Topografie der Fingergruppe Punkt für Punkt erfasst wird. Zur Identifikation des Fingerabdrucks erfolgt in jedem der Einzelsensoren eine Wandlung der charakteristischen physikalischen Größe (mechanischer Druck oder elektrische Leitfähigkeit) in eine durch das System erfassbare elektrische Größe, Spannung, Stromstärke oder Kapazität, so dass eine elektronische Erfassung und Auswertung der durch die Einzelsensoren bereitgestellten Messergebnisse ermöglicht wird. Für die Wandlung der physikalischen in eine elektrische Größe werden wahlweise kapazitive, piezoelektrische oder Widerstandseffekte genutzt.

Bedingt durch die Natur des zu untersuchenden Objekts ergeben sich in der herkömmlichen Fingerabdrucksortechnik eine Reihe von Problemen, die meist unabhängig von der Art des im Sensor genutzten Effekts sind. Diese Probleme werden hervorgerufen durch die chemische Zusammensetzung des menschlichen Schweißes und die dadurch verursachten Kontaminations- und Korrosionserscheinungen vornehmlich der elektrischen Verbindungen im und zwischen den Einzelsensoren aber auch des aktiven Sensormaterials.

Mit dem erfindungsgemäßen Fingerabdrucksensor wird ein preiswerter Drucksensor vorgeschlagen, der auf organischen Feldeffekttransistoren beruht. Bei diesem Fingerabdrucksensor kann durch geeignete Wahl von Schutzschichten eine hinreichende Resistenz gegenüber aggressiven Substanzen, insbesondere menschlichem Schweiß gewährleistet werden.

Die Sensorik des erfindungsgemäßen Fingerabdruckensors besteht im Wesentlichen aus einer zweidimensionalen Matrix aus

organischen Feldeffekttransistoren mit Ansteuer- und Messeinheit und Zeilendecoder, wie sie zuvor für einen zweidimensionalen Positionssensor bereits beschrieben worden ist.

- 5 Der Schutz des Sensorfeldes gegen Umweltkontamination, die hauptsächlich durch menschlichen Schweiß verursacht ist und die die Langlebigkeit eines solchen Sensors beeinträchtigt, erfolgt durch Aufbringen einer ein- oder zweilagigen Schutzschicht auf das Sensorfeld.

10

Die obigen und weitere vorteilhafte Merkmale eines erfindungsgemäßen Kraftsensors, eines unter Verwendung eines derartigen Kraftsensors realisierten erfindungsgemäßen Drucksensors, eines ein- oder zweidimensionalen Positionssensors unter Verwendung von erfindungsgemäßen Kraftsensoren sowie eines Fingerabdrucksensors gemäß der Erfindung werden nachstehend in mehreren Ausführungs- und Anwendungsbeispielen anhand der Zeichnung näher erläutert. Die Zeichnungsfiguren zeigen im Einzelnen:

20

Fig. 1 schematisch im Querschnitt einen Pentazen-Transistor, der bevorzugt als bei der Erfindung verwendeter organischer Feldeffekttransistor dient;

25

Fig. 2A und 2B zwei alternative Schaltungsvarianten, die die reproduzierbare reversible Abhängigkeit des Drainstroms eines Pentazen-Transistors gemäß Fig. 1 von der auf den Transistor einwirkenden mechanischen Kraft zur Erzeugung eines elektrischen Messsignals nutzen;

30

Fig. 3 graphisch die gemessene Abhängigkeit des Drainstroms eines auf einem Glassubstrat integrierten Pentazen-Transistors von der Gate-Source-Spannung jeweils wenn keine Kraft auf den Pentazen-Transistor ausgeübt wird und wenn mittels ei-

35

-10-

nes kontrolliert absenkbaaren Stiften auf den Transistor eine mechanische Kraft einwirkt;

5 Fig. 4 auf der Basis der Messergebnisse von Fig. 3 graphisch die Differenz zwischen Tief- und Hochzuständen sowie die prozentuale Änderung des Drainstroms in Abhängigkeit von der Gate-Source-Spannung;

10 Fig. 5 schematisch eine Anwendung des erfindungsgemäßen Kraftsensors als membranbasierter Drucksensor;

15 Fig. 6 graphisch die gemessene Abhängigkeit des Drainstroms eines gemäß Fig. 5 auf einer PEN-Membran integrierten Pentazen-Transistors von der Biegung der PEN-Membran;

20 Fig. 7 schematisch eine Schaltungsanordnung eines eindimensionalen Positionssensors unter Verwendung von mehreren erfindungsgemäßen Kraftsensoren;

Fig. 8 schematisch eine Schaltungsanordnung eines zweidimensionalen Positionssensors unter Verwendung einer flächigen Matrix einer Vielzahl von erfindungsgemäßen Kraftsensoren;

25 Fig. 9 bis 11 schematische Querschnitte von drei Ausführungsbeispielen erfindungsgemäßer Fingerabdrucksensoren, die den erfindungsgemäßen Kraftsensor verwenden.

30 Diese Erfindung beschreibt einen Kraftsensor, bei dem die Kraftwandlung auf der messbaren, von der Größe der einwirkenden Kraft abhängigen Veränderung des Drain-Stroms eines organischen Feldeffekttransistors beruht. Neben der Abhängigkeit
35 des Drainstroms von den an der Drainelektrode und an der Gateelektrode eines organischen Feldeffekttransistors anliegenden elektrischen Potenzialen hängt bei diesen Transistoren

-11-

der Drainstrom außerdem von der auf den Transistor einwirkenden mechanischen Kraft ab. Da sich organische Transistoren besonders einfach und kostengünstig auf beliebigen Substraten integrieren lassen, sind sie besonders gut für die Realisierung von Kraftsensoren geeignet.

Die Erfindung bevorzugt für den organischen Feldeffekttransistor einen im Querschnitt in Fig. 1 gezeigten Pentazen-Transistor. Statt Pentazen für die aktive Schicht 5 zu verwenden, kann zum Beispiel auch Thiopen, Oligothiopen als auch Polythiopen als auch Fluoren für das Material der aktiven Schicht 5 verwendet werden. Der in Fig. 1 gezeigte Pentazen-Transistor 10 ist auf ein Substrat 1 aufgebracht und weist eine Gateelektrode 2, ein PVP-Gatedielektrikum 3, eine Drainelektrode 4, eine aktive Pentazenschicht 5, eine Passivierung 6 und eine Sourceelektrode 7 auf.

Für das Material des Substrats kommt eine breite Materialpalette in Frage, wie zum Beispiel Glas, Keramik, Kunststoff, Polymerfolie, Metallfolie und Papier. Unter den Polymerfolien kommen Polyethylen-Naphthalat (PEN), Polyethylen-Terephthalat (PET), Polyimid (PI), Polycarbonat, Polyethen-Etherketone (PEEK) in Frage. Dank dieser breiten Palette von Substratmaterialien lassen sich auf einfache Weise Kraftsensoren insbesondere für die weiter unten beschriebenen verschiedenen Anwendungen und für verschiedene Messbereiche, beruhend auf dem gleichen prinzipiellen Aufbau realisieren.

Die Fig. 2A und 2B zeigen zwei Schaltungsvarianten für Kraftsensorelemente auf der Grundlage organischer Transistoren. Fig. 2A zeigt eine Schaltungsanordnung für die Ansteuerung des Sensors, insbesondere des in Fig. 1 gezeigten Pentazen-Transistors 10 über eine konstante Stromquelle I_{steuer} und die Messung der Drain-Source-Spannung des Transistors als Messgröße V_{mess} . Bei konstantem Drainstrom I_{steuer} und konstanter Gate-Source-Spannung V_{steuer} hängt die gemessene Spannung V_{mess} nur von der einwirkenden mechanischen Kraft ab und erlaubt

-12-

somit eine Ermittlung der auf den Pentazen-Transistor einwirkenden Kraft. Dabei kann diese mechanische Kraft abhängig von der jeweiligen Applikation (siehe weiter unten) zum Beispiel von oben auf die Passivierschicht 6 oder über eine Verformung, z.B. Biegung des den Pentazen-Transistor tragenden Substrats 1 einwirken.

Fig. 2B zeigt die Ansteuerung des Kraftsensors 10 über eine konstante Gate-Source-Spannung V_{steuer1} und eine konstante Drain-Source-Spannung V_{steuer2} und die Messung des Drainstroms des Pentazen-Transistors 10 als Messgröße I_{mess} . Bei der in Fig. 2 gezeigten Schaltungsanordnung erlaubt der gemessene Strom I_{mess} einen Rückschluss auf die auf den Transistor einwirkende Kraft.

Hinsichtlich der elektrischen Wirkungsweise sind die beiden in den Fig. 2A und 2B gezeigten Schaltungsvarianten äquivalent.

Auf der Grundlage der in Fig. 2B gezeigten Schaltungsvariante eines erfindungsgemäßen Kraftsensors zeigt Fig. 3 graphisch gemessene Werte des Drainstroms I_D (in Ampere), der der Messgröße I_{mess} entspricht von der in Volt gemessenen Gate-Source-Spannung V_{GS} und zwar in ausgezogenen Linien im drucklosen Zustand, das heißt, wenn keine Kraft auf den Kraftsensor einwirkt und in gestrichelten Linien, wenn auf den Kraftsensor mittels eines kontrolliert absenkbaren Stifts eine mechanische Kraft ausgeübt wird. Dabei war die Drain-Source-Spannung V_{DS} konstant gleich 20 V. Die in Fig. 3 gezeigten Unterschiede zwischen dem Drainstrom ohne Krafteinwirkung (ausgezogene Linie) und dem Drainstrom bei auf den Pentazen-Transistor einwirkender Kraft (gestrichelte Linien) ergeben im Durchlassbereich des Pentazen-Transistors 10 Differenzwerte ΔI_D des Drainstroms (gemäß der gestrichelten Kurve in Fig. 4) etwa zwischen 0 und 27 nA, wenn der Arbeitspunkt des Pentazen-Transistors 10 durch die Wahl der Gate-Source-Spannung V_{GS} in den Durchlassbereich des Transistors 10 gelegt wird, wird ei-

ne beträchtliche prozentuale Änderung des Hoch-Zustands (Kraft wirkt auf den Pentazen-Transistor ein) zum Tiefzustand (keine Kraft wirkt auf den Pentazen-Transistor 10 ein) festgestellt, wie dies die ausgezogene Kurve in Fig. 4 darstellt.

5

Weiterhin wird anhand der Fig. 5 und 6 ein auf einer deformierbaren Membran 11 basierender integrierter Drucksensor beschrieben, bei dem die Druckwandlung auf einer messbaren vom Biegezustand der Membran abhängigen Veränderung der Schwellspannung eines oder mehrerer auf der Membran integrierter organischer Feldeffekttransistoren, insbesondere Pentazen-Transistoren 10 beruht. Dabei ist als Schwellspannung diejenige Eingangsspannung des Transistors definiert, bei der sich der Ausgangsstrom des Transistors aufgrund der Anreicherung eines Ladungsträgerkanals sprunghaft erhöht.

10

15

Fig. 5 zeigt eine Drucksensoranordnung, bei der das Substrat 1 gemäß Fig. 1 als biegsame Membran 11 gestaltet ist, die an ihrem äußeren Rand fest eingespannt und in ihren mittleren Bereichen nach oben und unten auslenkbar ist. In dem in Fig. 5 gezeigten Beispiel wirkt ein zu messender Druck P_{mess} von unten und ein Referenzdruck P_{ref} von oben auf die Membran 11 und damit auf den als Drucksensor dienenden Pentazen-Transistor 10 ein.

20

25

Für die Membran 11 kommt prinzipiell die oben bereits beschriebene breite Materialpalette in Frage.

25

Selbstverständlich können statt einem Pentazen-Transistor 10 in mittlerer Position auch mehrere Pentazen-Transistoren 10 (nicht gezeigt) auf der Membran 11 aufgebracht sein.

30

35

Die zuvor anhand der Fig. 2A und 2B beschriebenen Schaltungsvarianten und deren anhand der Fig. 3 und Fig. 4 beschriebenen Wirkungsweise ist ohne weiteres auch zur Wandlung des Differenzdrucks zwischen P_{mess} und P_{ref} in ein elektrisches Spannungs- bzw. Stromsignal verwendbar. Gemäß Fig. 2A hängt

-14-

bei konstantem Drainstrom I_{steuer} und konstanter Gate-Source-Spannung V_{steuer} die gemessene Spannung V_{mess} nur vom Biegezustand der Membran ab und erlaubt damit eine Ermittlung des auf die Membran wirkenden Drucks. Gemäß Fig. 2B erlaubt der
5 gemessene Strom I_{mess} einen Rückschluss auf den Biegezustand der Membran 11.

In Fig. 6 sind graphisch Messergebnisse für den Drainstrom I_D in Picoampere abhängig von der prozentualen Transistordehnung
10 bei einem auf einer PEN-Membran gemäß Fig. 5 integrierten Pentazen-Transistor 10 dargestellt.

Weiterhin werden anhand der Fig. 7 und 8 eine Vielzahl von erfindungsgemäßen Kraftsensoren verwendende Positionssensoren
15 beschrieben, bei denen die Wandlung der physikalischen Größe "Kraft" in eine messbare elektrische Größe auf der von der einwirkenden Kraft abhängigen Veränderung des Drain-Stroms eines organischen Feldeffekttransistors, insbesondere Pentazen-Transistors beruht.

20

Fig. 7 zeigt einen eindimensionalen Positionssensor, der eine Vielzahl von längs einer Linie angeordneten gleichbeabstandeten Kraftsensoren $10_1, 10_2, 10_3, 10_4, 10_k$ verwendet. Jeder dieser Kraftsensoren ist insbesondere durch einen Pentazen-
25 Transistor 10 realisiert, wie er zuvor anhand der Fig. 1 bis 4 beschrieben worden ist. Indem alle Transistoren $10_1, 10_2, 10_3, 10_4, 10_k$ innerhalb der Zeile durch Anlegen einer entsprechenden Gate-Source-Spannung eingeschaltet werden und gleichzeitig zum Beispiel die in Fig. 2A gezeigte Konstantstrom-
30 quelle mit dem konstanten Strom I_{steuer} an jeden der Pentazen-Transistoren $10_1, 10_2, 10_3, \dots, 10_k$ angelegt werden, kann die jeweilige Position der einwirkenden Kraft über die Auswertung der Drain-Source-Spannung V_{mess} durch eine Ansteuer- und Messeinheit 20 erfasst werden.

35

Fig. 8 stellt schematisch eine flächenhafte Anordnung, das heißt eine Matrix aus einer Vielzahl von gleichbeabstandeten

organischen Feldeffekttransistoren, insbesondere Pentazen-Transistoren $10_1, 10_2, \dots, 10_n$ gemäß Fig. 1 dar, die im Zusammenwirken mit einem Zeilendecoder 21 und einer Ansteuer- und Messeinheit 20 einen zweidimensionalen Positionssensor bildet. Jeder der organischen Feldeffekttransistoren, insbesondere Pentazen-Transistoren $10_1, 10_2, \dots, 10_n$ erfüllt gleichzeitig zwei Aufgaben: die eines Sensorelements und die eines Schalters zur Adressierung der einzelnen Pixel innerhalb der Matrix (Auswahl-Transistor).

10

Die Erfassung der Messdaten erfolgt Zeile für Zeile, indem alle Transistoren innerhalb einer Zeile, zum Beispiel beginnend mit den Transistoren $10_1 - 10_k$ durch Anlegen einer entsprechenden Gate-Source-Spannung über den Zeilendecoder 21 ausgewählt werden. Die Auswahlspannung wird so gewählt, dass die Transistoren in dieser Zeile eingeschaltet sind. Gleichzeitig werden alle anderen Zeilen der Matrix durch Anlegen einer entsprechenden Gate-Source-Spannung durch den Zeilendecoder 21 deselektiert, so dass die Transistoren in diesen nicht gewählten Zeilen gesperrt sind und keinen Beitrag zum Messstrom liefern. Dabei wird die Deselektspannung vom Zeilendecoder 21 so gewählt, dass die entsprechenden Transistoren dieser Zeilen sperren. Die von der einwirkenden mechanischen Kraft abhängigen Messspannungen, das heißt gemäß Fig. 2A die Drain-Source-Spannungen der Transistoren innerhalb der ausgewählten Zeile werden nach Aktivierung der Konstantstromquellen mit dem Strom I_{steuer} durch die Ansteuer- und Messeinheit 20 erfasst.

Die oben erwähnten Substratmaterialien kommen prinzipiell auch für den eindimensionalen Positionssensor 7 und den zweidimensionalen Positionssensor gemäß Fig. 8 in Betracht. Dank dieser breiten Palette von Substratmaterialien lassen sich auf einfache Weise Positionssensoren für verschiedene Anwendungen und für verschiedene Messbereiche beruhend auf dem gleichen prinzipiellen Aufbau realisieren.

35

Anhand der Fig. 9 bis 11 werden nachstehend drei verschiedene Ausführungsbeispiele eines preiswerten als Drucksensor gestalteten Fingerabdrucksensors basierend auf organischen Feldeffekttransistoren, insbesondere Pentazen-Transistoren beschrieben, bei dem durch geeignete Wahl von Schutzschichten eine hinreichende Fertigkeit gegenüber aggressiven Substanzen, insbesondere menschlichem Schweiß gewährleistet ist.

Grundlage für einen derartigen als Drucksensor ausgeführten Fingerabdrucksensor ist ein zweidimensionales Sensorfeld, wie es zuvor anhand der Fig. 8 beschrieben worden ist. Die Erfassung der Messdaten erfolgt Zeile für Zeile, indem alle Transistoren innerhalb einer Zeile durch Anlegen einer entsprechenden Gate-Source-Spannung über den Zeilendecoder 21 ausgewählt werden, dessen Auswahlspannung so gewählt wird, dass die Transistoren in dieser Zeile eingeschaltet sind. Gleichzeitig schaltet der Zeilendecoder bei anderen Zeilen der Matrix durch Anlegen einer entsprechenden Gate-Source-Spannung aus, das heißt er deselektiert diese Zeilen, so dass die Transistoren in diesen Zeilen gesperrt sind und keinen Beitrag zum Messstrom liefern. Die von der einwirkenden mechanischen Kraft abhängigen Messspannungen, das heißt die Drain-Source-Spannungen der Pentazen-Transistoren innerhalb der ausgewählten Zeile werden nach Aktivierung der Konstantstromquellen I_{steuer} über die Ansteuer- und Messeinheit 20 erfasst.

Der Schutz des Sensorfeldes gegen Umweltkontamination, die hauptsächlich durch menschlichen Schweiß verursacht wird, der die Langlebigkeit eines solchen Sensors beeinträchtigt, erfolgt durch Aufbringen einer ein- oder zweilagigen Schutzschicht auf das Sensorfeld. Menschlicher Schweiß ist eine für viele chemische Verbindungen aggressive saure wässrige Lösung mit dem pH-Wert 4,5. Schweiß besteht zu 98 % aus Wasser mit den Nebenbestandteilen Natriumchlorid, Kalziumchlorid, Ammoniak, Harnstoff, Harnsäure und Creatin sowie Proteinbestandteilen.

-17-

In den Fig. 9 bis 11 ist jeweils ein einzelner Drucksensor des in Fig. 8 gezeigten zweidimensionalen Feldes unter Verwendung eines Pentazen-Transistors 10 gezeigt. Bei dem in Fig. 9 dargestellten ersten Ausführungsbeispiel 100 ist als

5 erste (unterste) Schutzlage auf den Pentazen-Transistor 10 eine Diffusionsbarriere 30 für Wasser und Wasser liebende Bestandteile aufgebracht. Diese erste Schutzlage 30 besteht aus einem hydrophoben Material, welches auf der Oberfläche der Pentazen-Transistoren 10 abgeschieden wird ohne die empfind-

10 liche organische Halbleiterschicht (vgl. 5 in Fig. 1) zu beschädigen. Hierzu eignen sich besonders Paraffine, die ein Gemisch von langkettigen, extrem hydrophoben aliphatischen Kohlenwasserstoffen sind, die in verschiedenen Kettenlängen und damit verschiedenen Schmelzbereichen handelsüblich sind.

15 Für diese Erfindung sind Paraffine bevorzugt, die bei Raumtemperatur fest sind und einen Schmelzbereich oberhalb der maximalen Einsatztemperatur der Bauelemente (ca. 80°C) haben. Paraffine sind preiswert und lassen sich auch bei relativ niedrigen Temperaturen unzersetzt verdampfen. Somit ist die

20 Applikation einer Paraffinschicht preiswert realisierbar. Der auf die Oberfläche der aktiven Schicht 5 aufgedampfte Paraffinfilm (siehe Fig. 1) bietet nicht nur einen nahezu 100 %-igen Schutz gegenüber Luftfeuchtigkeit (Diffusionsbarriere) sondern schützt auch vor direktem Kontakt mit Wasser

25 und hydrophilen Bestandteilen. Obwohl Paraffine aus organischen Molekülen bestehen (ähnlich wie organische Lösungsmittel, zum Beispiel Alkohole, Azeton, Hexan, Petrolether), schädigen aufgedampfte Paraffinschichten nicht die molekulare Anordnung der aktiven organischen Halbleiterschicht 5 und da-

30 mit deren elektrische Eigenschaften. Dies liegt zum einen an der Größe (Länge > C17) der aliphatischen Kohlenwasserstoffe und zum anderen am Aggregatzustand der Paraffine (wachsartig bis fest). Im Gegensatz zu kleinen organischen Lösungsmittelmolekülen ist bei großen Molekülen die Diffusion durch eine

35 Schicht bzw. ein Kristallgitter deutlich erschwert. Außerdem sind die Paraffine fest und damit deutlich demobilisiert. Als zweite (obere) Schutzlage 31 dient bei dem in Fig. 9 gezeig-

ten Ausführungsbeispiel 100 eine hydrophile Polymerlage, bevorzugt Polyvinylalkohol (PVA). Die Funktion der zweiten Schutzlage besteht in der Wirkung als Diffusionsbarriere gegenüber Fett liebenden (lipophilen) Inhaltsstoffen, wie Talk, Proteinresten oder generell organischen Inhaltsstoffen.

Wie das in Fig. 10 dargestellte zweite Ausführungsbeispiel 101 eines einen Pentazen-Transistoren 10 anwendende Fingerdrucksensors zeigt, ist die Reihenfolge der Schutzschichten vertauscht, da sich sowohl Paraffin als auch PVA problemlos auf der Oberfläche der Transistoren abscheiden lassen ohne dass die empfindliche organische Halbleiterschicht 5 beschädigt wird.

Bei der Realisierung eines erfindungsgemäßen Fingerabdrucksensors wurden als Materialien für die hydrophobe Schutzschicht besonders solche Paraffine verwendet, die bei Raumtemperatur fest sind, zum Beispiel Aldrich, Schmelzpunkt 73 bis 78°C. Auch eignen sich bei Raumtemperatur feste, inerte nicht aromatische Kohlenwasserstoffe, die sich unzersetzt verdampfen lassen, wie zum Beispiel Adamanthan. Die Abscheidung der hydrophoben Schutzschicht 30 erfolgte aus der Gasphase bei vermindertem Druck (je nach Flüchtigkeit 10^{-1} bis 10^{-4} Torr) und erhöhten Temperaturen, wobei das Substrat gekühlt wurde.

Für die hydrophile Schutzschicht 31, wenn diese wie bei dem Ausführungsbeispiel 101 gemäß Fig. 10 auf einer Pentazen-Schicht aufgebracht wurde, erwies sich die wässrige Formulierung von Polyvinylalkohol (1 bis 10 % in Wasser) als besonders geeignet. Wahlweise kann einer solchen Formulierung ein Initiator zur fotochemischen Vernetzung zugesetzt werden, der ein schnelles Aushärten unter Bestrahlung mit UV-Licht erleichtert. Ein entsprechender Initiator ist zum Beispiel: Ammoniumdichromat (0,01 bis 0,1 Gew.-%). Die Abscheidung erfolgt durch Aufschleudern ("spin coating"), Tauchen ("dip coating") oder Aufsprühen ("spray coating").

Fig. 11 zeigt ein drittes Ausführungsbeispiel 102 eines schweißresistenten Fingerabdrucksensors unter Verwendung eines Pentazen-Transistors 10, bei dem ein perfluoriertes Material als Schutzschicht 32 verwendet wird. Diese Materialart macht es möglich, nur eine Schutzschicht 32 zu verwenden, da Schichten aus perfluorierten Verbindungen, wie zum Beispiel Perfluorohexadekan sowohl für hydrophobe als auch für hydrophile Verbindungen Diffusionsbarrieren sind.

10

Bei dem in Fig. 11 gezeigten dritten Ausführungsbeispiel 102 des erfindungsgemäßen Fingerabdrucksensors eignen sich für die perfluorierte Schutzschicht 32 prinzipiell alle perfluorierten n-Alkanderivate (zum Beispiel Perfluorotetradekan, Schmelzpunkt 103 bis 104°C; Perfluorohexadekan, Schmelzpunkt 125 - 126°C) sowie bei Raumtemperatur feste, inerte nicht aromatische perfluorierte Kohlenwasserstoffe, die sich unzer setzt verdampfen lassen (zum Beispiel Perfluoromethyldecalin, Schmelzpunkt 59°C). Die Abscheidung erfolgt aus der Gasphase bei vermindertem Druck (je nach Flüchtigkeit 10^{-1} bis 10^{-4} Torr) und erhöhten Temperaturen (bis 200°C), wobei das Substrat gekühlt werden sollte.

15

20

Für die Substratmaterialien der in den Fig. 9 bis 11 gezeigten und oben beschriebenen Ausführungsbeispiele 100, 101, 102 eines erfindungsgemäßen Fingerabdrucksensors gelten dieselben Gesichtspunkte wie sie für den oben beschriebenen und in Fig. 1 gezeigten erfindungsgemäßen Kraftsensor hinsichtlich einer breiten Palette von Substratmaterialien genannt wurden.

25

30

Bezugszeichenliste

| | | |
|----|---|-----------------------------------|
| | 1 | Substrat |
| | 2 | Gateelektrode |
| 5 | 3 | PVP-Gatedielektrikum |
| | 4 | Drainelektrode |
| | 5 | Pentazenlage |
| | 6 | Passivierlage |
| | 7 | Sourceelektrode |
| 10 | 10 | Pentazen-Transistor |
| | 11 | Membransubstrat |
| | 10 ₁ - 10 _n | mehrere Pentazen-Transistoren |
| | 20 | Ansteuer- und Messeinheit |
| | 21 | Zeilendecoder |
| 15 | 30, 31, 32 | schweißresistente Schutzschichten |
| | 100, 101, 102 | Fingerabdrucksensoren |
| | I _{steuer} | Konstantstrom |
| | V _{steuer} , V _{steuer1} , V _{steuer2} | Konstantspannungen |
| | V _{mess} , I _{mess} | Messspannung, Messstrom |

Patentansprüche

1. Kraftsensor auf der Basis eines auf einem Substrat (1; 11) aufgetragenen organischen Feldeffekttransistors (10), bei dem
5 eine auf den Transistor einwirkende mechanische Kraft eine dieser Kraft entsprechende Änderung seiner Source-Drain-Spannung oder seines Source-Drain-Stroms (I_D) verursacht, die jeweils als Messgröße (V_{mess} , I_{mess}) für die einwirkende Kraft erfassbar sind.
- 10 2. Kraftsensor nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass der organische Feldeffekttransistor (10) ein Pentazen-Transistor ist, der eine aktive Schicht (5) aus Pentazen zwischen seiner Source- (7) und seiner Drain-Elektrode (4) aufweist.
- 15 3. Kraftsensor nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
20 dass das Substrat (1) zum Beispiel aus Glas, Keramik, Kunststoff, einer Polymerfolie, Metallfolie oder aus Papier besteht.
4. Kraftsensor nach Anspruch 3,
25 dadurch gekennzeichnet,
dass die Polymerfolie des Substrats (1) insbesondere Polyethylen-Naphthalat (PEN), Polyethylen-Terephthalat (PET), Polyimid (PI), Polycarbonat und/oder Polyethenether-Ketone (PEEK) aufweist.
- 30 5. Kraftsensor nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die erfasste Messgröße (V_{mess}) die Drain-Source-Spannung des organischen Feldeffekttransistors (10) ist, wobei diesem
35 zum Messzeitpunkt eine konstante Gate-Source-Spannung (V_{steuer}) und ein konstanter Drain-Strom (I_{steuer}) anliegen.

-22-

6. Kraftsensor nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass die erfasste Messgröße der Drainstrom (I_{mess}) des organi-
schen Feldeffekttransistors (10) ist, wobei diesem zum Mess-
5 zeitpunkt eine konstante Gate-Source-Spannung (V_{steuer1}) und
eine konstante Drain-Source-Spannung (V_{steuer2}) anliegen.
7. Drucksensor unter Verwendung wenigstens eines Kraftsensors
nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das Substrat als de-
10 formierbare Membran (11) gestaltet ist und die Messgröße dem
Biegezustand der Membran entspricht.
8. Ein- oder zweidimensionaler Positionssensor zur Messung
der Position einer mechanischen Krafteinwirkung entlang einer
15 Linie oder innerhalb einer Fläche unter Verwendung einer
Vielzahl von Kraftsensoren ($10_1, 10_2, \dots, 10_n$) nach einem der
Ansprüche 1 bis 6, wobei die Kraftsensoren ($10_1, 10_2, \dots,$
 10_n) in regelmäßigen Abständen zueinander in Form einer ein-
oder zweidimensionalen Matrix auf einem gemeinsamen Substrat
20 angeordnet sind.
9. Eindimensionaler Positionssensor nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine Ansteuer- und Messeinheit (20) mit den Drain- oder
25 Sourceanschlüssen aller Feldeffekttransistoren zur Ansteue-
rung und Erfassung der Position der Krafteinwirkung verbunden
bzw. verbindbar ist.
10. Zweidimensionaler Positionssensor nach Anspruch 9,
30 bei dem die organischen Feldeffekttransistoren in Zeilen und
Spalten angeordnet sind und eine Ansteuer- und Messeinheit
(20) mit den Drain- oder Sourceanschlüssen aller Spalten zur
Ansteuerung und Erfassung der Spaltenposition der Kraftein-
wirkung und ein Zeilendecoder (21) mit den Gateanschlüssen
35 der organischen Feldeffekttransistoren zur zeilenweisen Aus-
wahl und Ansteuerung der organischen Feldeffekttransistoren
verbunden bzw. verbindbar sind.

-23-

11. Fingerabdrucksensor unter Verwendung einer Vielzahl von in Form einer in Zeilen und Spalten untergliederten zweidimensionalen Matrix in regelmäßigen Abständen auf einem gemeinsamen Substrat angeordneten Kraftsensoren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei eine Ansteuer- und Messeinheit (70) mit den Drain- oder Sourceanschlüssen der organischen Feldeffekttransistoren in allen Spalten zur Ansteuerung und Erfassung der Spaltenposition der Krafteinwirkung und ein Zeilendecoder (21) mit den Gateanschlüssen der organischen Feldeffekttransistoren aller Zeilen zur zeilenweisen Auswahl und Erfassung der Position der Krafteinwirkung in Zeilenrichtung verbunden bzw. verbindbar sind.

12. Fingerabdrucksensor nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine schweißresistente Schutzschicht (30, 31; 32) als Schutz gegen Eindringen von Wasser und organischen Kontaminationen über der aktiven Schicht (5) der organischen Feldeffekttransistoren vorgesehen ist.

13. Fingerabdrucksensor nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Schutzschicht aus einem perfluorierten Material, insbesondere Perfluorohexadekan besteht.

14. Fingerabdrucksensor nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass eine erste Schutzschicht (30) aus einem hydrophoben Material und eine zweite Schutzschicht (31) aus einem hydrophilen Polymer besteht, das als Diffusionsbarriere gegen lipophile Verunreinigungsstoffe wirkt.

15. Fingerabdrucksensor nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Schutzschicht (30) die zweite Schutzschicht (31) bedeckt.

-24-

16. Fingerabdrucksensor nach Anspruch 14,
dadurch gekennzeichnet,
dass die zweite Schutzschicht (31) die erste Schutzschicht
(30) bedeckt.

5

1/5

FIG 1

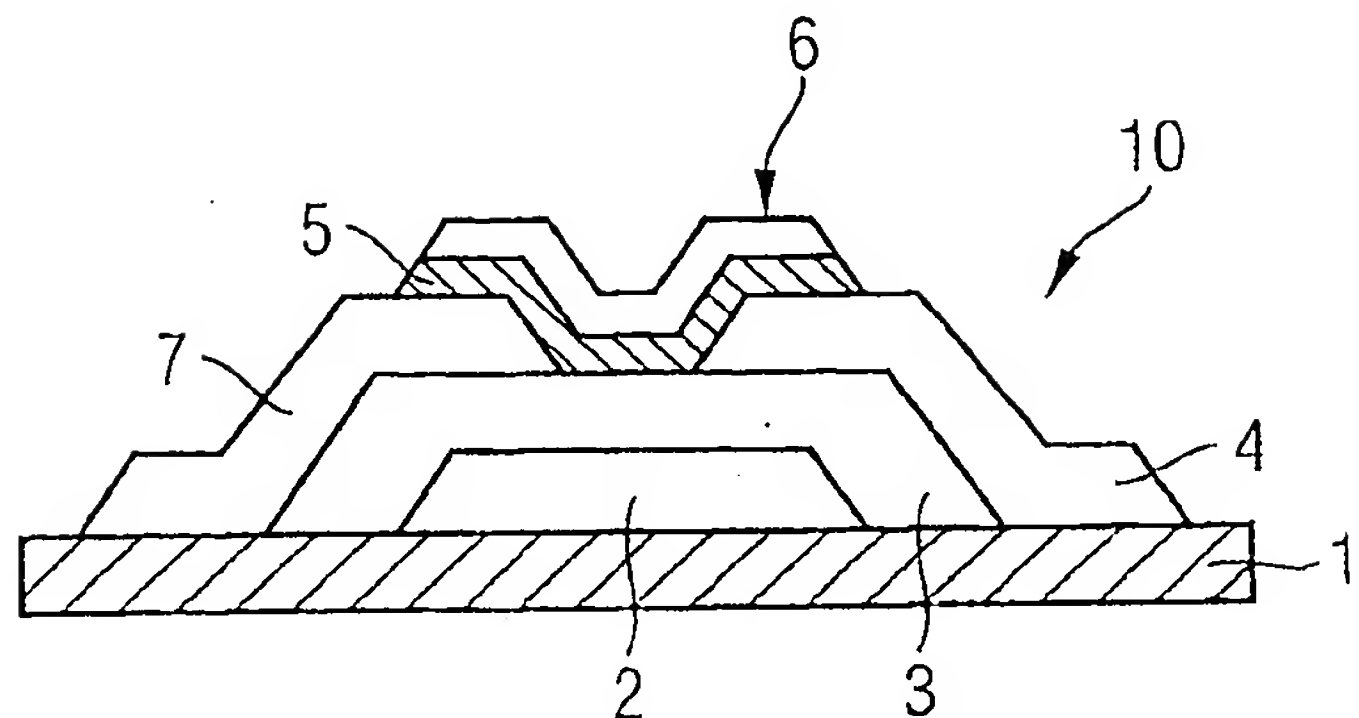


FIG 2A

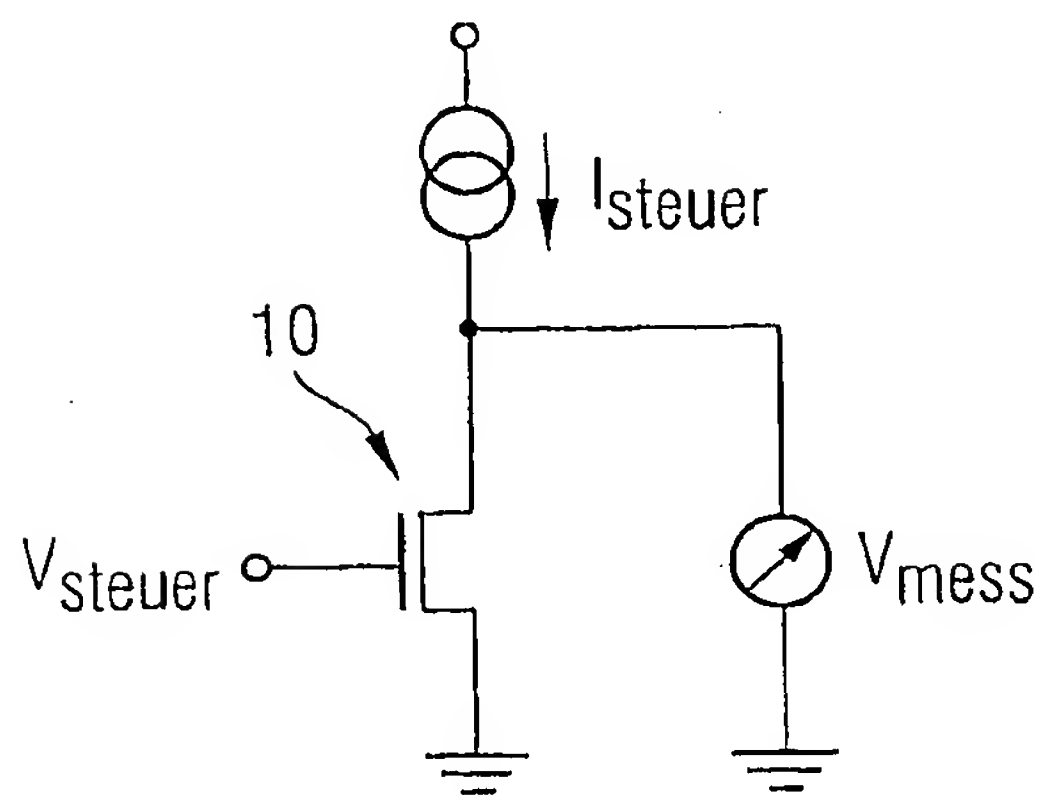
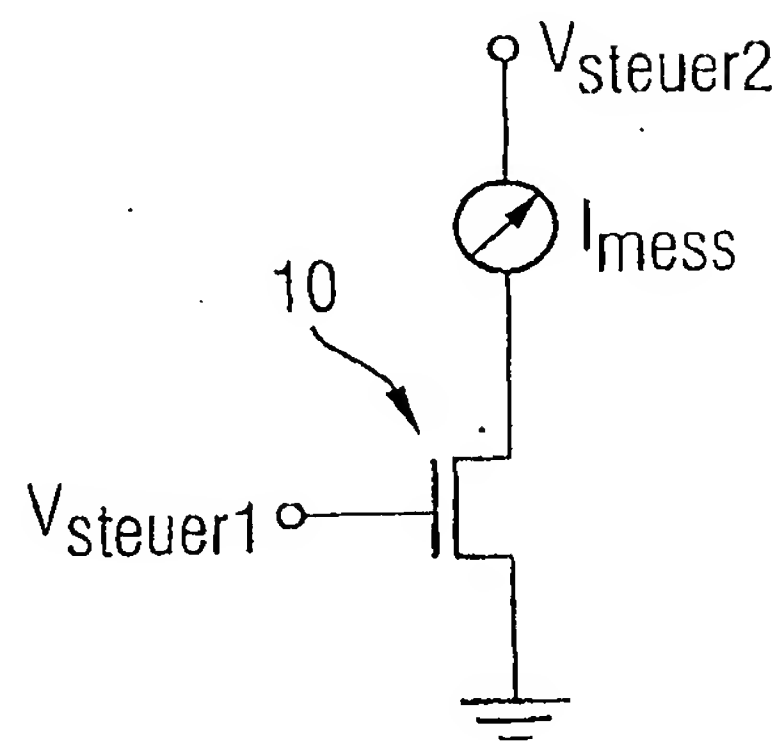


FIG 2B



2/5

FIG 3

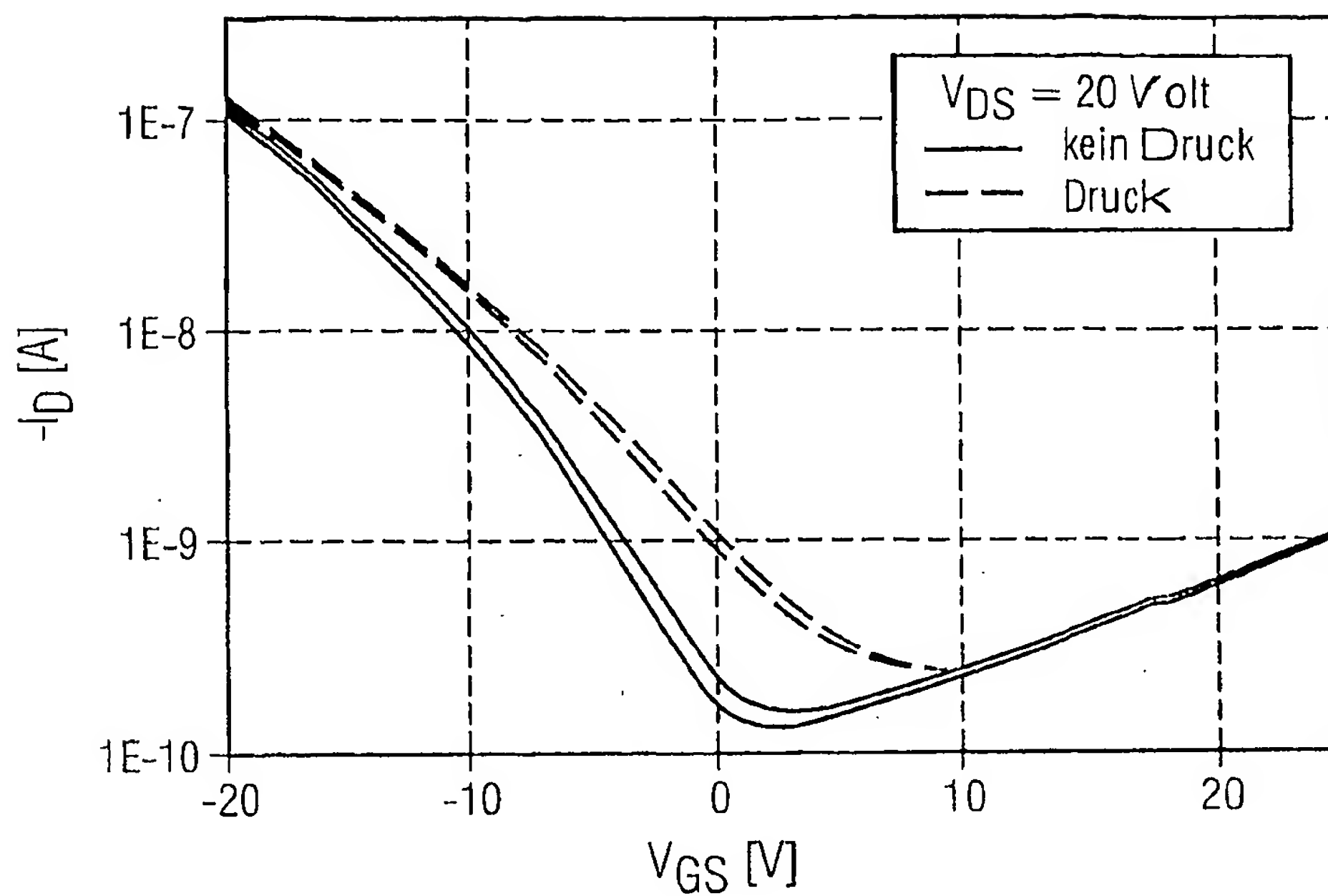
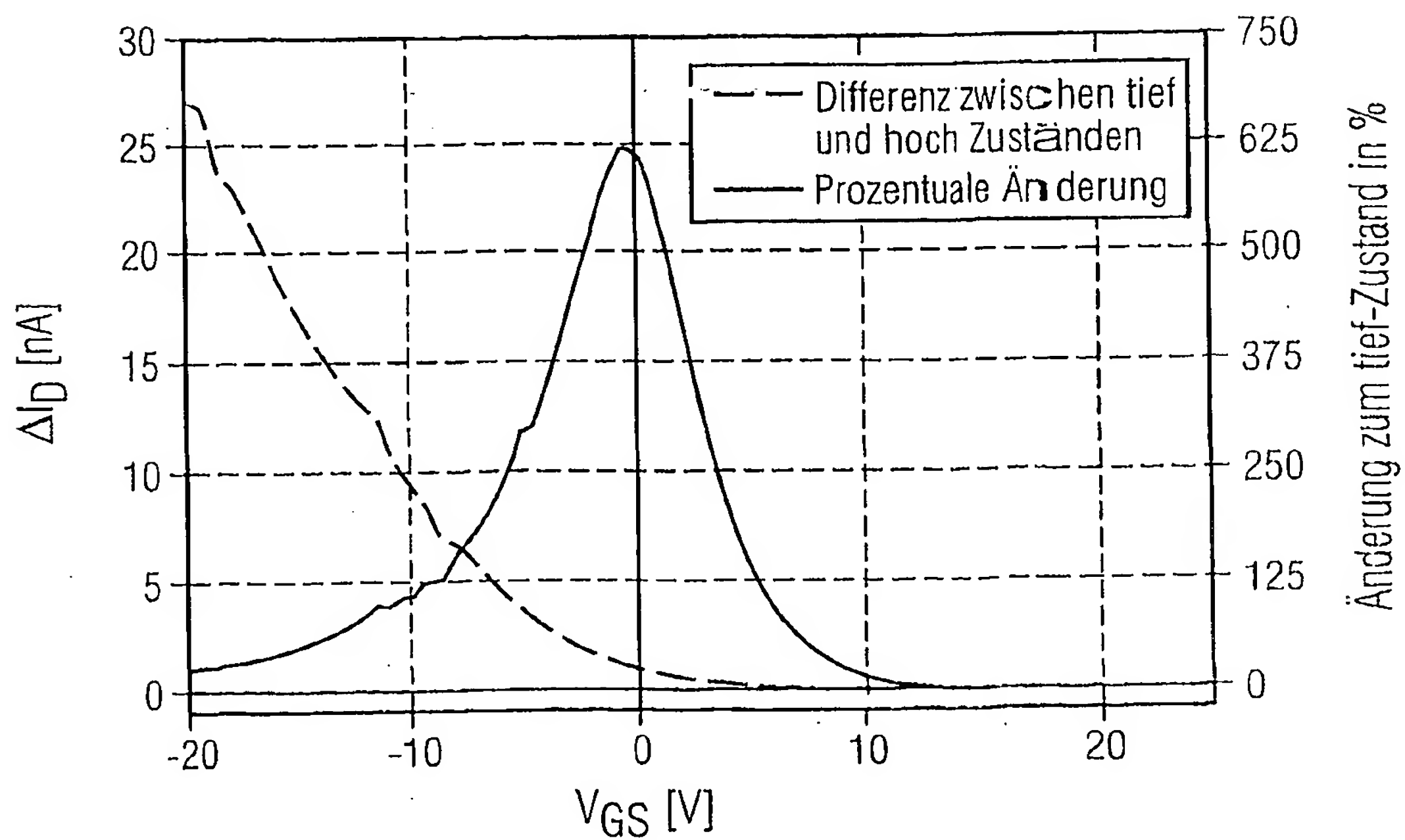


FIG 4



3/5

FIG 5

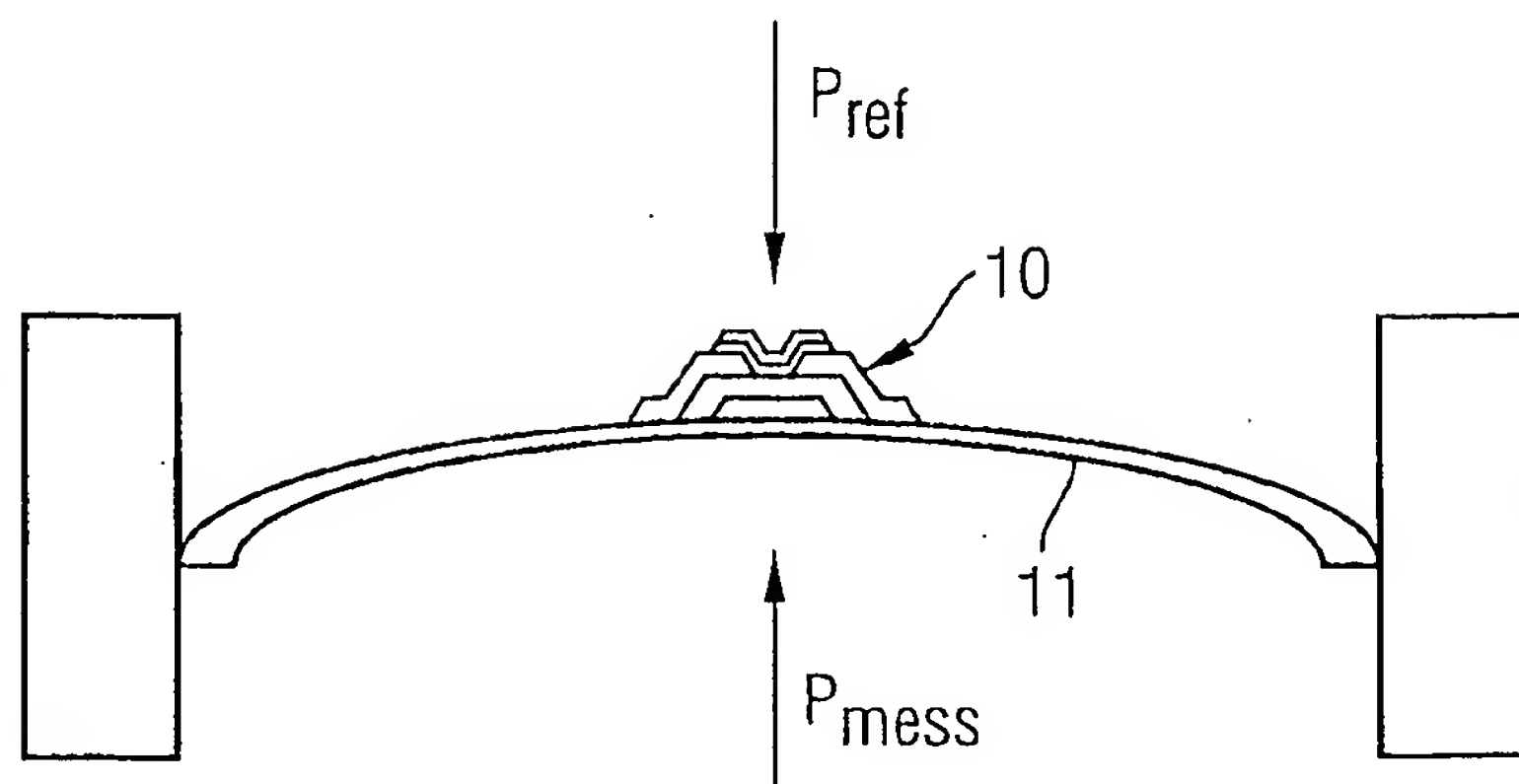
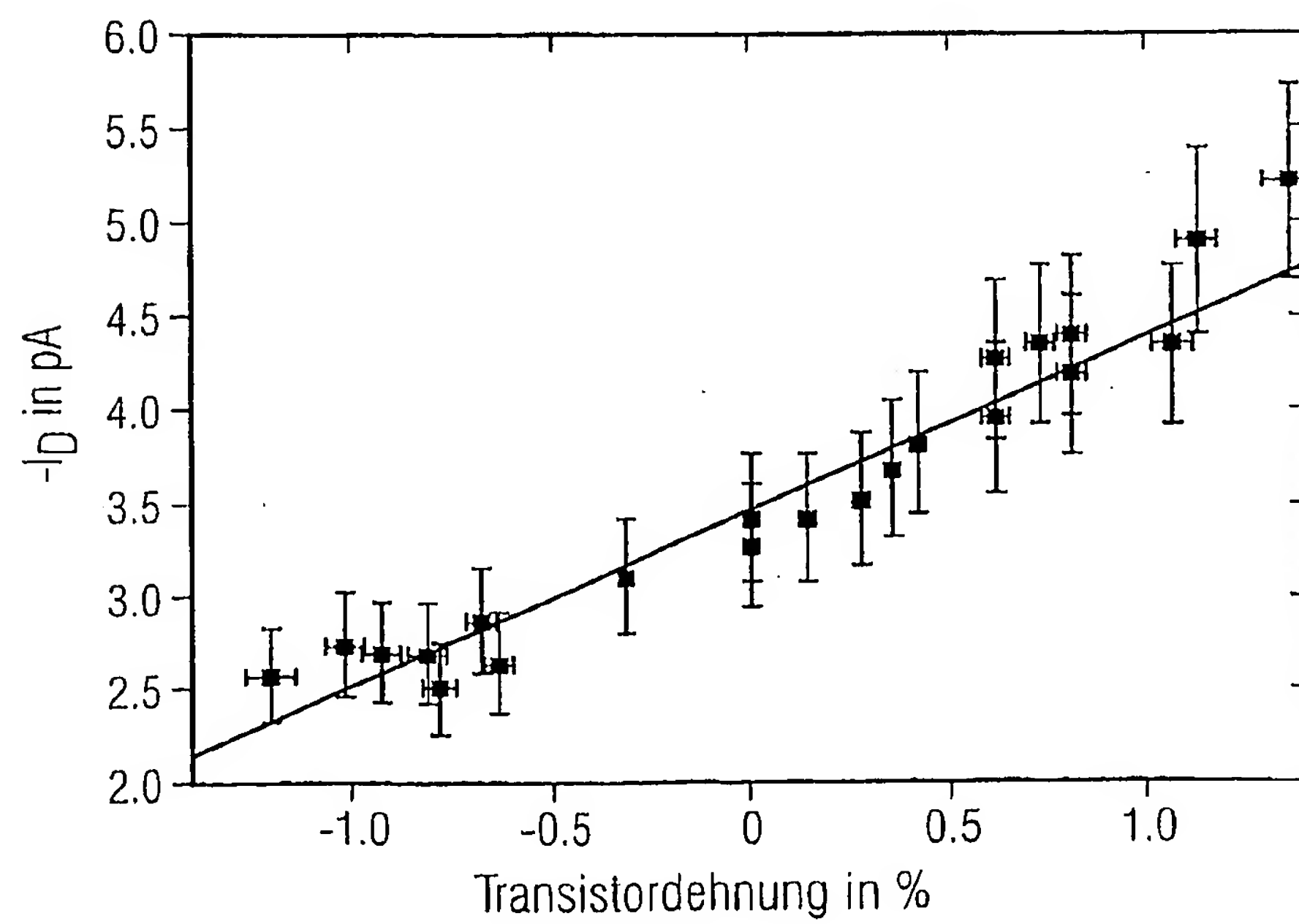


FIG 6



4/5

FIG 7

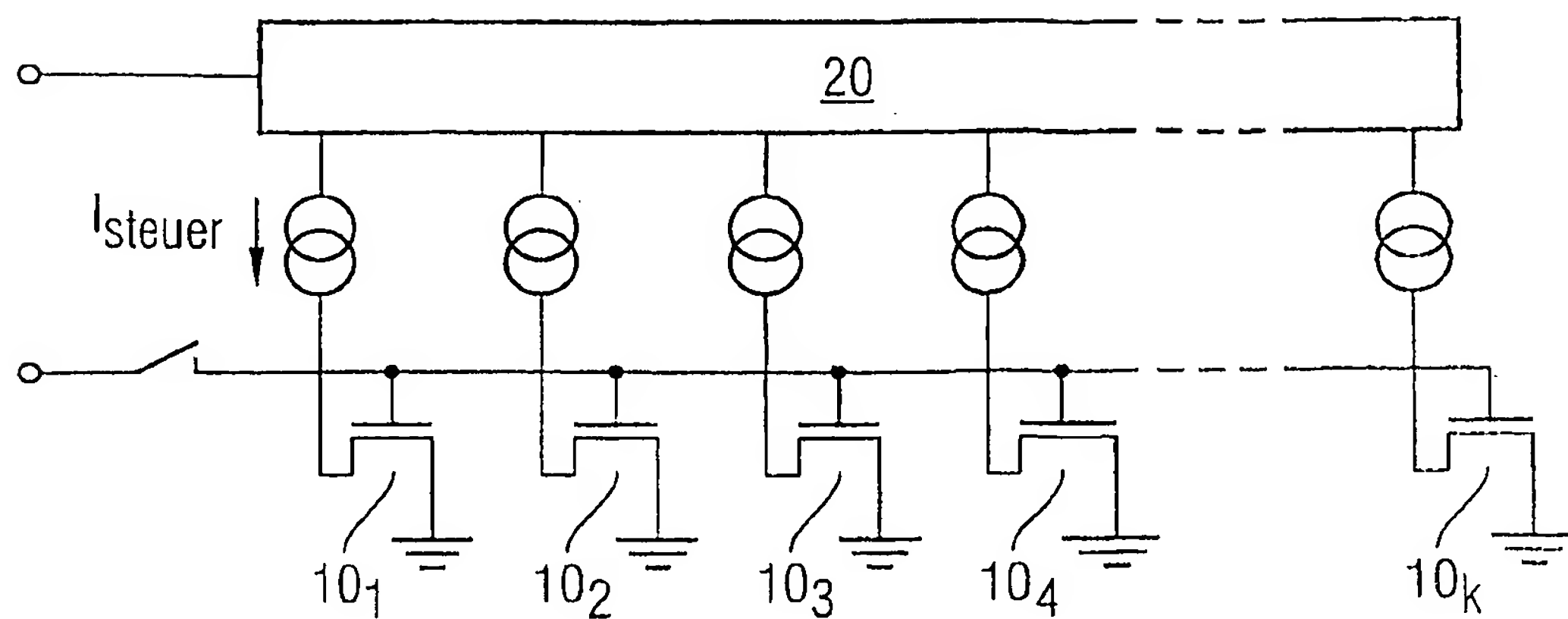
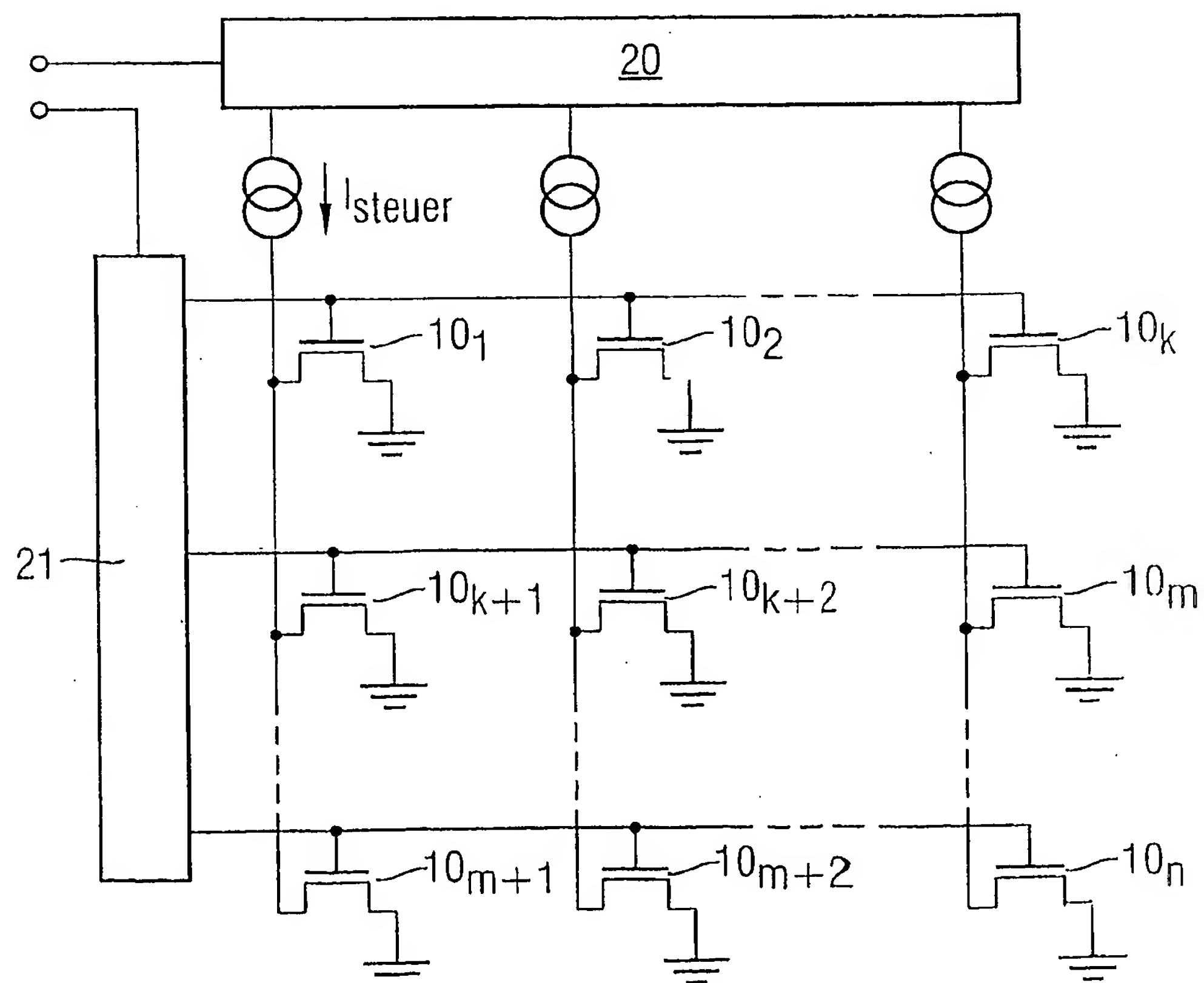


FIG 8



5/5

FIG 9

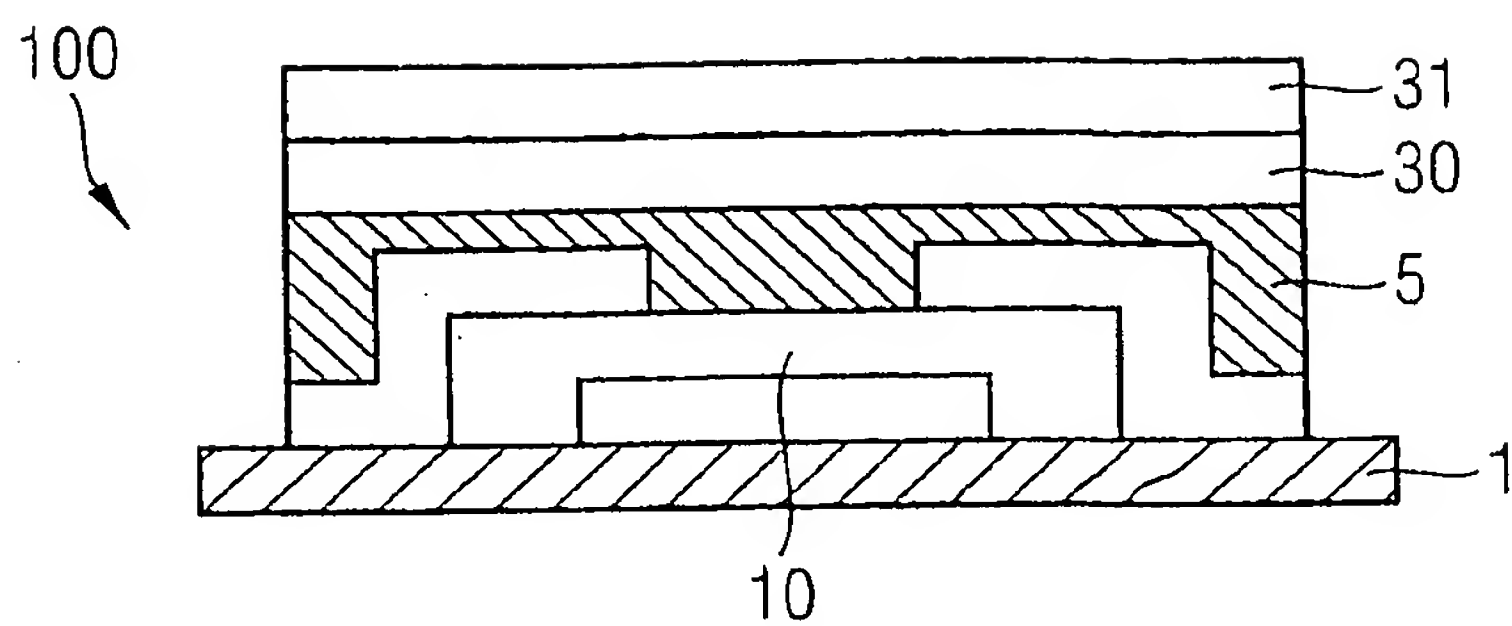


FIG 10

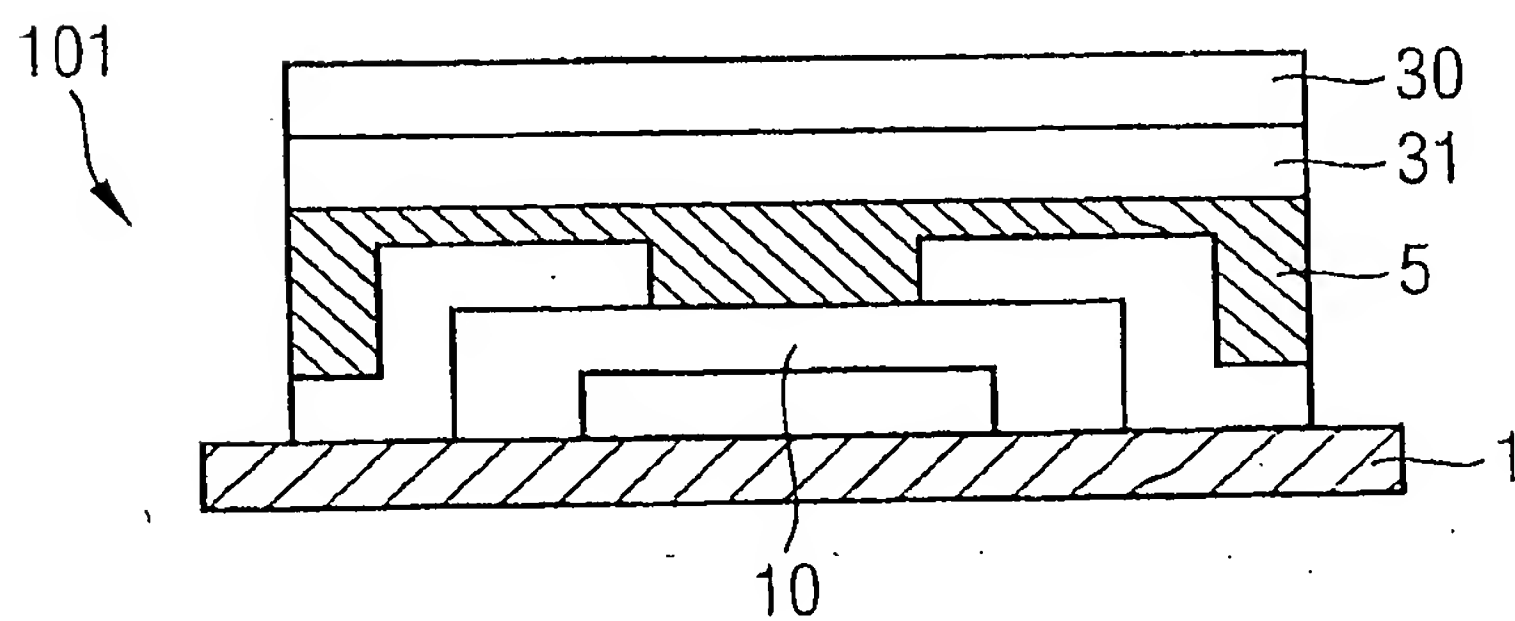


FIG 11

